

• 快报 •

8MeV 电子辐照技术在快速晶闸管 制造工艺中的应用

曾和平 杜云武

(四川省原子核应用技术研究所 成都 610066)

江怀英

(成都整流器厂 成都 610041)

摘要 介绍高能 8MeV 电子辐照技术在大功率快速晶闸管制造工艺中的成功应用。

关键词 电子辐照, 快速晶闸管, 少子寿命, 关断时间, 通态峰值压降

中图分类号 O646

早在 70 年代初, 美国西屋公司就开展了用电子辐照技术控制半导体器件少子寿命的研究工作, 取得了令人满意的效果^[1], 近年来这项技术已被广泛采用。我国从 80 年代初开始这项技术的研究, 并已取得了可喜的成果, 正在推广和深入研究中。文献 [2] 对硅开关二极管、铂扩散和用 12MeV 电子辐照的结果进行了比较, 证明了用 12MeV 电子辐照技术取代掺金工艺是成功的。文献 [3] 阐述了电子辐照的机理, 并列举了电子辐照技术在快速二极管、开关晶体管、高压硅堆等器件制造中的实际应用。

我们用高能电子束对 KP200A 成品管和未经扩金工艺的 KP500A 进行辐照试验, 探索快速晶闸管制造工艺中用电子辐照取代扩金工艺的方法, 取得了满意的效果。

1 实验方法和结果

1.1 电子辐照对 KP200A 成品管参数的影响

1.1.1 电子辐照对断态重复峰值电流 (I_{DRM}) 和反向重复峰值电流 (I_{RRM}) 的影响 实验样品: 用传统的扩金工艺生产并封装成型的成品管 KP200A。对参数 I_{DRM} 、 I_{RRM} 作辐照前后的温升试验。试验方法: 取样品 30 支, 每 10 支为一组, 分别在 2MeV、5MeV 和 8MeV 3 种能量下进行照射, 用全动态测试法将辐照前后的 I_{DRM} 、 I_{RRM} 数据进行对照, 发现 8MeV 对样件 I_{DRM} 和 I_{RRM} 的改善最明显。因两者的变化趋势相同, 根据数据仅绘出 I_{RRM} — T 变化曲线如图 1 所示。

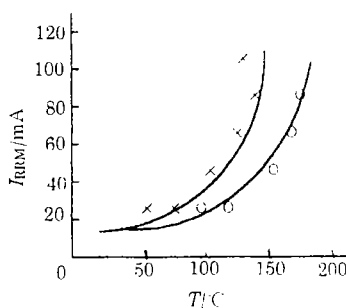


Fig.1 Effect of EB irradiation on I_{RRM} vs. T

Test condition: $V_{RRM}=1400V$

× Before irradiated, o After irradiated

由图 1 可见, 随温度升高, I_{RRM} 也升高, 但在同一温度下, 经电子辐照后的 I_{RRM} 值远低于未辐照时的值。

1.1.2 电子辐照对电路换向关断时间(t_q)和通态峰值压降(V_{TM})的影响 取参数符合的 KP200A 样件 50 支, 每 10 支为一组, 分别在 2×10^{12} 、 1×10^{13} 、 3×10^{13} 、 4×10^{13} 、 6×10^{13} e/cm² 5 种剂量下进行辐照。

加速器的能量调至 8~8.5 MeV, 并对辐照前后的全动态测试数据进行统计分析和比较 (记录数据从略)。结果发现辐照剂量在 1.5×10^{13} ~ 5.5×10^{13} e/cm² 范围内均可使 t_q 有明显的改善, 而 V_{TM} 仅略有增加。当剂量为 3.5×10^{13} e/cm² 时, 测得的 t_q 和 V_{TM} 统计数据如表 1 所示, 其中 V_{DRM} 为断态重复峰值电压, V_{RRM} 为反向重复峰值电压。

Tab.1 Changes of t_q 、 V_{TM} before and after irradiated($V_{DRM}=V_{RRM}=1400V$)

Parameter	$t_q/\mu s$				V_{TV}/V			
	min	max	Average	Bias error	min	max	Average	Bias error
Before irradiated	30	75	60	40	0.8	1.2	1.0	0.4
Afetr irradiated	10	25	15	15	1.1	1.5	1.2	0.4
Standard of	11	15		class S			≤ 2.9	
electronic department	51	60		class Z			≤ 2.9	

1.2 用电子辐照取代扩金工艺的试验

取未经扩金工艺的 KP500A 成品管 100 支。按类似电子辐照对 t_q 和 V_{TM} 的影响实验的辐照工艺和合适的照射剂量进行辐照, 并用全动态测试方法对各项参数进行测试, 重点关注 t_q 和 V_{TM} 参数。经对结果数据进行统计分析和比较 (具体数据从略), 发现 t_q 的变化规律与电子辐照对 t_q 和 V_{TM} 的影响实验的相同, 随机抽样 10 支管的 t_q 和 V_{TM} 数据如表 2 所示。

Tab.2 Comparison of t_q , V_{TM} of KP500A before and after irradiated($V_{DRM} = V_{RRM}=1400V$)

Parameter No	$t_q/\mu S$		V_{TM}/V	
	Before irradiated	After irradiated	Before irradiated	After irradiated
3	65	14	1.00	1.25
7	69	19	1.10	1.40
10	67	15	1.00	1.30
15	71	20	1.15	1.42
25	62	14	1.20	1.60
37	59	13	1.22	1.65
46	75	14	1.25	1.70
59	79	25	1.35	1.84
75	73	21	1.40	1.92
93	62	14	1.28	1.53

2 讨 论

- (1) 由图 1 可见, 经辐照后, 随温度升高, 同一温度下的 I_{RRM} 值明显低于未辐照时的值, 说明电子辐照改善了 KP200A 成品管的高温特性。
- (2) 由图 1 和表 1 可见, 应用电子辐照可对成品晶闸管在高温下 I_{DRM} 和 I_{RRM} 太大的不合格品以及 t_q 太大和 V_{TM} 离散性大的不合格品的参数进行调整。另据文献 [3] 介绍, 电子辐照还可对维持电流或掣住电流太大或触发电流太小的不合格品进行调整。

(3) 由电子辐照取代扩金工艺的试验结果和统计数据分析, 辐照后参数 t_q 均低于部标 U 级, 而 V_{DRM} 、 V_{RRM} 均有不同程度的上升, 但仍低于部标要求。为检验辐照后参数的稳定性, 再将抽样的 10 支样件在 240°C 下进行 5h 退火处理, 退火后的 V_{DRM} 、 V_{RRM} 和 V_{TM} 变化不大, t_q 的变化约为 $4\mu\text{s}$, 但有一支管反向穿通, 另一支管的 V_{TM} 为 3.9V 。改变退火温度和时间可获得最佳器件特性。

快速晶闸管的关键参数 t_q 由关断时间和恢复电荷两个参数决定, 控制少子寿命的值就能控制这两个参数。而少子寿命的控制可用掺金、铂或高能电子辐照来实现。两种办法的效果都是在硅的能带间隙中引入一种深能级陷阱中心, 它可起到电子或空穴的复合能级的作用。有关学者通过试验, 在 2MeV 能量下, 照射剂量为 $7 \times 10^{13} \text{e}/\text{cm}^2$ 时, 可使晶闸管 n 区内少子寿命降低 20 倍以上, 改善了器件的恢复时间, 使 t_q 显著下降。扩金虽然能使通态特性和关断时间有良好的折衷关系, 但以漏电流大及不能获得良好的均匀性和重复性为代价。扩铂的特性差, 应用较少。电子辐照弥补了扩金的缺陷, 且工艺简单, 易于控制, 已获得广泛关注和实际应用。

3 应用

在上述两项试验的基础上, 摸清了制造 KK200A 和 KK500A 所需的辐照工艺和合适的辐照剂量, 承接了另一厂家的一批未经扩金工艺的 KP200A 和 KP500A 共 700 余支。根据辐照前所测得的参数, 对辐照工艺进一步完善, 并调整了辐照剂量, 确定了最佳退火温度和时间, 经辐照后, 各项参数的一致性、稳定性均很满意, 优质品比用传统工艺提高了一个档次, 符合 KK 标准的合格率在 80% 以上。在试验过程中参考了大量国内外资料, 不断改进和完善辐照工艺, 调整辐照剂量, 从试验到小批量辐照仅用了两个多月时间。对不同厂家的器件, 由于前期工艺条件(如水质、温湿度控制和空气的洁净度等)有差异, 辐照过程中的具体工艺条件也应有所不同。到目前为止, 已为几家半导体器件厂辐照了符合部标要求的 KK200A、KK500A 成品管数万支, 优品率在 80% 以上。

4 结论

(1) 用 8MeV 电子辐照工艺, 可对传统工艺生产的不合格晶闸管的参数进行调整, 使之成为合格品。

(2) 用 8MeV 电子辐照技术对未经扩金工艺, 但参数符合部标的 KP 型大功率晶闸管进行辐照, 即可生产出合格的 KK 型晶闸管, 证明用 8MeV 电子辐照取代快速晶闸管生产中的扩金工艺是可行的, 可用于批量生产。

(3) 经电子辐照的晶闸管, 用全动态测试法并经满功率电老化试验和退火试验, 器件的各电气参数的一致性、稳定性均优于部标指标。

(4) 8MeV 电子辐照技术亦可用于辐照开关二极管、高频晶体管、VMOS 和 IGBT 等电子器件, 取代传统的金、铂扩散工艺。

参 考 文 献

- 1 Chu C K, Donlon J F. IEEE IAS Annual meeting, 1976, 456-458
- 2 Hang D S. Reliab Environ Test Electron Prod, 1988, 2:43-47
- 3 Hang D S. Trends Nucl Phys, 1995.12(2):67-68
- 4 Feng Y C, Wang X B, Luo J S *et al.* Power Electron, 1997. 31(2):94-96

APPLICATION OF 8MeV ELECTRON IRRADIATION TECHNIQUE IN THE MANUFACTURING PROCESS FOR THE FAST THYRISTOR

ZENG Heping DU Yunwu

(*Institute of Nuclear Technology Application Chengdu 610066*)

JIANG Huaiying

(*Rectifier Factory ChengDu 610041*)

ABSTRACT This paper reports a successful application of the technology of the high-energy 8MeV electron irradiation in the manufacturing process for the High Power Fast Thyristor.

KEYWORDS Electron irradiation, Fast thyristor, The lifetime of minority, Turn-off time, On-state peak voltage drop

CLC O646